



Docket No.: 50212-584

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
Tatsuhiko SAITO	:	Confirmation Number: 9333
Serial No.: 10/815,799	:	Group Art Unit: 1731
Filed: April 02, 2004	:	Examiner:
For: OPTICAL FIBER AND METHOD OF FABRICATING THE SAME	:	

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

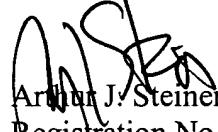
At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

Japanese Patent Application No. JP 2003-102013, filed on April 4, 2003.

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT WILL & EMERY LLP


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
202.756.8000 AJS:gav
Facsimile: 202.756.8087
Date: August 24, 2004

BEST AVAILABLE COPY

10/ 215,147
August 24, 2004

日本国特許 ~~McDermott Will & Emery LLP~~
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 2003年 4月 4日
Date of Application:

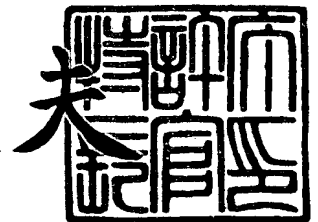
出願番号 特願2003-102013
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-102013]

願 人 住友電気工業株式会社
Applicant(s):

2004年 3月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

出証番号 出証特 2004-3015360

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0122

【提出日】 平成15年 4月 4日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00356
G02B 6/20

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 齋藤 達彦

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ及び光ファイバの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ファイバ軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを製造する方法であって、

前記空孔となるべき孔を有する光ファイバ母材を用意する工程と、

前記光ファイバ母材の前記孔内を加圧しながら、 0.78 [N]以上の線引張力で前記光ファイバ母材を線引きする工程とを備えることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 2】 前記線引張力が 1.18 [N]以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 3】 前記空孔の直径が 2 [μm]以下の場合、前記直径を d [μm]とし、前記孔内に加える圧力を P [kPa]としたときに、前記圧力 P が

【数 1】

$$-d + 4.5 < P < -1.5d + 6.8 \quad \cdots (1)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 4】 前記空孔の直径が 2 [μm]以上 4 [μm]以下の場合、前記直径を d [μm]とし、前記孔内に加える圧力を P [kPa]としたときに、前記圧力 P が

【数 2】

$$-d + 4.5 < P < -d + 5.8 \quad \cdots (2)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 5】 前記空孔の直径が 4 [μm]以上 6 [μm]以下の場合、前記直径を d [μm]とし、前記孔内に加える圧力を P [kPa]としたときに、前記圧力 P が

【数 3】

$$-0.2d + 1.3 < P < -0.4d + 3.4 \quad \cdots (3)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 6】 前記空孔の直径が $6 [\mu\text{m}]$ 以上の場合、前記直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、前記孔内に加える圧力を $P [\text{kPa}]$ としたときに、前記圧力 P が

【数 4】

$$0.1 < P < 1.0 \dots (4)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 7】 前記線引張力が $1.76 [\text{N}]$ 以下で、前記光ファイバ母材の線引き後の直径が $100 [\mu\text{m}]$ 以下となるように前記光ファイバ母材を線引きすることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 8】 前記空孔の直径が $2 [\mu\text{m}]$ 以下の場合、前記直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、前記孔内に加える圧力を $P [\text{kPa}]$ としたときに、前記圧力 P が

【数 5】

$$-d + 4.5 < P < -1.5d + 6.3 \dots (5)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 9】 前記空孔の直径が $2 [\mu\text{m}]$ 以上 $4 [\mu\text{m}]$ 以下の場合、前記直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、前記孔内に加える圧力を $P [\text{kPa}]$ としたときに、前記圧力 P が

【数 6】

$$-d + 4.5 < P < -d + 5.3 \dots (6)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 10】 前記空孔の直径が $4 [\mu\text{m}]$ 以上 $6 [\mu\text{m}]$ 以下の場合、前記直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、前記孔内に加える圧力を $P [\text{kPa}]$ としたときに、前記圧力 P が

【数 7】

$$-0.2d + 1.3 < P < -0.3d + 2.5 \dots (7)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 11】 前記空孔の直径が $6 [\mu\text{m}]$ 以上の場合、前記直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、前記孔内に加える圧力を $P [\text{kPa}]$ としたときに、前記圧力 P が

【数 8】

$$0.1 < P < 0.7 \quad \dots (8)$$

で表される関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 12】 ファイバ軸方向に延びるコア領域と、
前記コア領域を取り囲むように設けられたクラッド領域と、
前記コア領域及び前記クラッド領域のうち少なくとも一方に形成され、前記ファイバ軸方向に延びており、前記ファイバ軸に直交する断面において 3 層以上の層構造を形成している複数の空孔と
を備え、

前記複数の空孔のうち最外層以外の層である内層の複数の空孔夫々の最大孔径を d_{MAX} 、最小孔径を d_{MIN} とし、

前記最大孔径 d_{MAX} 及び前記最小孔径 d_{MIN} を、前記内層の複数の空孔において平均した値を d_A とし、

前記内層の複数の空孔夫々の第 1 偏差 $D_1 [\%]$ を

【数 9】

$$D_1 = \frac{|d_{\text{MAX}} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (9)$$

前記内層の複数の空孔夫々の第 2 偏差 $D_2 [\%]$ を

【数 10】

$$D_2 = \frac{|d_{\text{MIN}} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (10)$$

としたとき、前記内層の複数の空孔夫々の前記第 1 偏差 D_1 及び前記第 2 偏差 D_2 が何れも $10 [\%]$ 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 13】 ファイバ軸方向に延びるコア領域と、

前記コア領域を取り囲むように設けられたクラッド領域と、
前記コア領域及び前記クラッド領域のうち少なくとも一方に形成され、前記ファイバ軸方向に延びており、前記ファイバ軸に直交する断面において3層以上の層構造を形成している複数の空孔と
を備え、

前記複数の空孔夫々の最大孔径を d_{MAX} 、最小孔径を d_{MIN} とし、

前記最大孔径 d_{MAX} 及び前記最小孔径 d_{MIN} を、前記複数の空孔において平均した値を d_A とし、前記複数の空孔夫々の第1偏差 D_1 [%] を

【数 1 1】

$$D_1 = \frac{|d_{MAX} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (11)$$

前記複数の空孔夫々の第2偏差 D_2 [%] を

【数 1 2】

$$D_2 = \frac{|d_{MIN} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (12)$$

としたとき、前記複数の空孔夫々の前記第1偏差 D_1 及び前記第2偏差 D_2 が何れも 10 [%] 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ファイバ軸方向に延びる空孔を有する光ファイバ及び光ファイバを製造する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

ファイバ軸方向に延びる空孔を有する光ファイバには、ホーリーファイバやフォトニック結晶ファイバと呼ばれるものがある。以下、このようなファイバ軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを微細構造光ファイバと称す。

【0003】

このような微細構造光ファイバは、ファイバ軸に直交する断面における空孔の

大きさや空孔の分布を調整することでコア領域とクラッド領域との平均屈折率差を調整することができる。そのため、空孔を有さない光ファイバよりも優れた特性を得ることが可能である。例えば、波長 $1.55 [\mu\text{m}]$ で大きな負分散を得ると共に実効コア断面積を大きくすることができる微細構造光ファイバが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。この提案されている微細構造光ファイバは、コア領域を順次包囲する 3 層のクラッド領域を有し、各クラッド領域夫々に複数の空孔が配置されている。そして、ファイバ軸に直交する断面における空孔の径の大きさを 3 層のクラッド領域のうち外側にいくにつれて大きくすることで上記光伝送特性が得られている。

【0004】

【特許文献 1】

特開 2002-31737 号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、微細構造光ファイバは、空孔となるべき孔を有する光ファイバ母材を線引きして製造される。孔を有する光ファイバ母材を線引きのために加熱して溶融すると、孔の界面にはその接線方向に表面張力が働く。このように孔の界面に表面張力が働いた場合、表面張力における孔の径方向への成分は孔の曲率に比例して大きくなり、孔を潰すように作用する。その結果、小さな径の孔ほど表面張力の影響で潰れやすく、その効果により線引時に孔の潰れや変形が生じていた。その結果、線引き後の光ファイバに設計通りの空孔が形成されていなかったり、空孔の形状が変形したりする場合があった。

【0006】

上述したように、微細構造光ファイバの光伝送特性は、ファイバ軸に直交する断面における空孔の大きさや空孔の分布を調整することで得られている。したがって、微細構造光ファイバに所望の空孔が形成されていない場合や空孔が変形している場合には、光伝送特性が設計値から大きく外れる場合があった。

【0007】

本発明は、上記問題点を解消するためになされたものであり、ファイバ軸方向

に延びる空孔を有し設計値により近い光伝送特性を得ることができる光ファイバ及び光ファイバを製造する方法を提供することを目的とする。

【0 0 0 8】

【課題を解決するための手段】

本発明者は、微細構造光ファイバとなるべき孔を有する光ファイバ母材を線引きする際に、どのように孔の変形が生じるかに関して研究を重ねた。そして、孔内を加圧しないと光ファイバ母材の孔潰れは、光ファイバ母材を線引きしていく過程において、光ファイバ母材の直径が5 [mm]程度になるまでの領域で、その80 [%]程度が生じていることを見出した。

【0 0 0 9】

即ち、線引炉のヒータ内部の領域では光ファイバ母材温度は十分に高く、粘性の観点から考えると孔は潰れやすい。しかし、孔の径は大きいので表面張力により孔が潰れる効果は小さい。これに対して、ヒータ下端より下の領域では光ファイバ母材温度が低く粘性が高いため、粘性の観点から考えると孔は潰れにくい。しかし、この領域では孔の径が非常に小さく、孔を潰すように作用する表面張力の効果は大きい。調査の結果、粘性の効果と表面張力の効果とでは、粘性の効果の方が孔潰れに対してより支配的に作用することが判明した。これが光ファイバ母材の直径が5 [mm]程度までの領域で孔潰れの80 [%]程度が発生する理由である。そして、更に鋭意研究を重ねて本発明に至った。

【0 0 1 0】

すなわち、本発明に係る光ファイバの製造方法は、ファイバ軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを製造する方法であって、空孔となるべき孔を有する光ファイバ母材を用意する工程と、光ファイバ母材の孔内を加圧しながら、0.78 [N]以上の線引張力で光ファイバ母材を線引きする工程とを備えることを特徴とする。この方法によれば、光ファイバ母材に形成されている孔を加圧しながら線引するので、孔が潰れることが抑制される。また、0.78 [N] (80 [gf]) 以上の高い線引張力、つまり低い温度で線引きするのでガラス粘性が高く孔の変形も抑制することができる。

【0 0 1 1】

また、本発明に係る光ファイバにおいては、線引張力が1.18 [N]以上であることが好適である。線引張力が1.18 [N] (120 [gf]) 以上の場合、より低温で線引きすることができるので、孔の変形を更に抑制することが可能である。

【0012】

更に、本発明に係る光ファイバにおいては、空孔の直径が2 [μ m]以下の場合、直径をd [μ m]とし、孔内に加える圧力をP [kPa]としたときに、圧力Pが

【数13】

$-d + 4.5 < P < -1.5d + 6.8 \quad \cdots (13)$
で表される関係を満たすことが望ましい。

【0013】

光ファイバ母材が線引炉で加熱され始めたときは、光ファイバ母材が加熱・溶解されて孔の周りの粘性は低くなるが、孔の径が大きいので表面張力の影響は小さい。そのため、孔を加圧していると、孔内に加えられた圧力の影響で孔は膨張する。一方、光ファイバ母材が線引きされて径が小さくなると、孔が小さくなることから表面張力の影響が大きくなり孔は収縮する。光ファイバの空孔の直径が2 [μ m]以下の場合、式(13)の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0014】

また、空孔の直径が2 [μ m]以上4 [μ m]以下の場合、直径をd [μ m]とし、孔内に加える圧力をP [kPa]としたときに、圧力Pが

【数14】

$-d + 4.5 < P < -d + 5.8 \quad \cdots (14)$
で表される関係を満たすことが望ましい。

【0015】

この場合、式(14)の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0016】

更にまた、空孔の直径が4 [μ m]以上6 [μ m]以下の場合、直径をd [μ m]と

し、孔内に加える圧力を P [kPa] としたときに、圧力 P が

【数 15】

$$-0.2d + 1.3 < P < -0.4d + 3.4 \quad \cdots (15)$$

で表される関係を満たすことが好ましい。

【0017】

この場合、式 (15) の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0018】

また、空孔の直径が $6 [\mu\text{m}]$ 以上の場合、直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、孔内に加える圧力を P [kPa] としたときに、圧力 P が

【数 16】

$$0.1 < P < 1.0 \quad \cdots (16)$$

で表される関係を満たすことが好ましい。

【0019】

この場合、式 (16) の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0020】

更にまた、光ファイバ母材の線引き後の直径が $100 [\mu\text{m}]$ 以下となるような場合、線引張力が $1.76 [\text{N}]$ 以下となる条件で光ファイバ母材を線引きすることが好適である。線引張力が $1.76 [\text{N}]$ ($180 [\text{gf}]$) 以下であれば、光ファイバ母材の線引き後の直径が $100 [\mu\text{m}]$ の光ファイバを製造する場合でも、光ファイバが断線することを抑制できる。

【0021】

上述した線引き後の直径を $100 [\mu\text{m}]$ 以下とする本発明に係る光ファイバの製造方法において、空孔の直径が $2 [\mu\text{m}]$ 以下の場合、直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、孔内に加える圧力を P [kPa] としたときに、圧力 P が

【数 17】

$$-d + 4.5 < P < -1.5d + 6.3 \quad \cdots (17)$$

で表される関係を満たすことが好適である。

【0022】

この場合、式(17)の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、光ファイバの断線を抑制しつつ、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0023】

更に、上述した線引き後の直径を $100[\mu\text{m}]$ 以下とする本発明に係る光ファイバの製造方法において、空孔の直径が $2[\mu\text{m}]$ 以上 $4[\mu\text{m}]$ 以下の場合、直径を $d[\mu\text{m}]$ とし、孔内に加える圧力を $P[\text{kPa}]$ としたときに、圧力 P が

【数 18】

$$-d + 4.5 < P < -d + 5.3 \quad \cdots (18)$$

で表される関係を満たすことが好適である。

【0024】

この場合、式(18)の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、光ファイバの断線を抑制しつつ、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0025】

更にまた、上述した線引き後の直径を $100[\mu\text{m}]$ 以下とする本発明に係る光ファイバの製造方法において、空孔の直径が $4[\mu\text{m}]$ 以上 $6[\mu\text{m}]$ 以下の場合、直径を $d[\mu\text{m}]$ とし、孔内に加える圧力を $P[\text{kPa}]$ としたときに、圧力 P が

【数 19】

$$-0.2d + 1.3 < P < -0.3d + 2.5 \quad \cdots (19)$$

で表される関係を満たすことが望ましい。

【0026】

この場合、式(19)の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、光ファイバの断線を抑制しつつ、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0027】

また、上述した線引き後の直径を $100[\mu\text{m}]$ 以下とする本発明に係る光ファ

イバの製造方法において、空孔の直径が $6 [\mu\text{m}]$ 以上の場合、直径を $d [\mu\text{m}]$ とし、孔内に加える圧力を $P [\text{kPa}]$ としたときに、圧力 P が

【数 20】

$$0.1 < P < 0.7 \quad \dots (20)$$

で表される関係を満たすことが好適である。

【0028】

この場合、式 (20) の関係を満たすように孔に圧力を加えることで、光ファイバの断線を抑制しつつ、孔の膨張と収縮とをバランスさせることができる。

【0029】

また、本発明に係る光ファイバは、ファイバ軸方向に延びるコア領域と、コア領域を取り囲むように設けられたクラッド領域と、コア領域及びクラッド領域のうち少なくとも一方に形成され、ファイバ軸方向に延びており、ファイバ軸に直交する断面において 3 層以上の層構造を形成している複数の空孔とを備え、複数の空孔のうち最外層以外の層である内層の複数の空孔夫々の最大孔径を d_{MAX} 、最小孔径を d_{MIN} とし、最大孔径 d_{MAX} 及び最小孔径 d_{MIN} を、内層の複数の空孔において平均した値を d_A とし、内層の複数の空孔夫々の第 1 偏差 $D_1 [\%]$ を

【数 21】

$$D_1 = \frac{|d_{\text{MAX}} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (21)$$

内層の複数の空孔夫々の第 2 偏差 $D_2 [\%]$ を

【数 22】

$$D_2 = \frac{|d_{\text{MIN}} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (22)$$

としたとき、内層の複数の空孔夫々の第 1 偏差 D_1 及び第 2 偏差 D_2 が何れも 10 [%] 以下であることを特徴とする。

【0030】

空孔が層構造を形成している場合、最外層以外の層を構成している空孔の幾何学的形状が最外層を構成している空孔の幾何学的形状よりも光ファイバの光伝送特性に影響を与える。したがって、内層を構成している複数の空孔夫々の第 1 偏

差 D_1 及び第2偏差 D_2 が何れも10[%]以内になっていることで、光伝送特性を設計値により近いものとする事が可能である。

【0031】

また、本発明に係る光ファイバは、ファイバ軸方向に延びるコア領域と、コア領域を取り囲むように設けられたクラッド領域と、コア領域及びクラッド領域のうち少なくとも一方に形成され、ファイバ軸方向に延びており、ファイバ軸に直交する断面において3層以上の層構造を形成している複数の空孔とを備え、複数の空孔夫々の最大孔径を d_{MAX} 、最小孔径を d_{MIN} とし、最大孔径 d_{MAX} 及び最小孔径 d_{MIN} を複数の空孔において平均した値を d_A とし、複数の空孔夫々の第1偏差 D_1 [%]を

【数23】

$$D_1 = \frac{|d_{MAX} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (23)$$

複数の空孔夫々の第2偏差 D_2 [%]を

【数24】

$$D_2 = \frac{|d_{MIN} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (24)$$

としたとき、複数の空孔夫々の第1偏差 D_1 及び第2偏差 D_2 が何れも10[%]以下であることを特徴とする。この場合、最外層を構成している空孔まで含めて、夫々の空孔の第1偏差 D_1 及び第2偏差 D_2 が10[%]以下となっている。そのため、光ファイバの光伝送特性を設計値により近くすることができる。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下に、図面と共に本発明の好適な実施形態について説明する。なお、以下の説明においては、同一の要素には同一の符号を用いることとし、重複する説明は省略する。また、図中の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。

【0033】

図1は、本実施形態におけるファイバ軸方向に延びる空孔を有した光ファイバである微細構造光ファイバ10の説明図である。図1(a)は、微細構造光ファ

ファイバ 10 をファイバ軸に垂直な面で切断した時の断面を示している。微細構造光ファイバ 10 は、そのファイバ軸に沿って延びるコア領域 11 と、そのコア領域 11 の外周を取り囲むクラッド領域 12 とを備える。

【0034】

クラッド領域 12 には、コア領域 11 の周囲にファイバ軸方向に延びる複数の空孔 13₁, 13₂, 13₃, 13₄ が形成されている。図 1 に示すように、空孔 13₁~13₄ は、コア領域 11 の周りに六方格子状に配置され、4 層構造を形成している。図中の点線は、空孔 13₁~13₄ が層構造であることを示すために記載しているものであり、実際に形成されているものではない。なお、内側の層から順に第 1 層~第 4 層とした際に、夫々の層を構成している空孔を空孔 13₁~13₄ としている。空孔 13₁~13₄ は、その直径を $d[\mu\text{m}]$ 、隣り合う空孔との中心間の距離を $\Lambda[\mu\text{m}]$ としたとき、 d/Λ が 0.5 以上となるように配置されている。なお、図 1 (b) に示すように、空孔（例えば、空孔 13₄）が真円から変形している場合には、直径 d は、空孔の最大孔径（例えば、長径）を $d_{\text{MAX}}[\mu\text{m}]$ 及び最小孔径（例えば、短径）を $d_{\text{MIN}}[\mu\text{m}]$ としたときの平均値とすれば良い。

【0035】

また、空孔 13₁~13₄ 夫々の第 1 偏差 $D_1[\%]$ を

【数 25】

$$D_1 = \frac{|d_{\text{MAX}} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (25)$$

とし、第 2 偏差 $D_2[\%]$ を

【数 26】

$$D_2 = \frac{|d_{\text{MIN}} - d_A|}{d_A} \times 100 \quad \dots (26)$$

としたときに、空孔 13₁~13₄ の最大孔径偏差 $D[\%]$ を第 1 偏差 D_1 及び第 2 偏差 D_2 のうちより大きい方とした場合、最外層以外の層（内層）を構成している空孔 13₁~13₃ 夫々の最大孔径偏差 D が 10 [%] 以下となっている。言い換えれば、第 1 偏差 D_1 及び第 2 偏差 D_2 の何れもが 10 [%] 以下となっている。

【0036】

なお、式(25)、式(26)において、 $d_A[\mu\text{m}]$ は内層を構成している空孔 13_1 、 13_2 、 13_3 夫々の最大孔径 d_{MAX} 及び最小孔径 d_{MIN} をそれらの空孔 $13_1 \sim 13_3$ において平均した場合の値である。

【0037】

このように空孔 $13_1 \sim 13_3$ の最大孔径偏差 D が10[%]以下である(即ち、空孔 $13_1 \sim 13_3$ の変形が小さい)ので、微細構造光ファイバ10の波長分散特性などの光伝送特性が設計値により近いものとなっている。これは、微細構造光ファイバ10では、内層を構成している空孔 $13_1 \sim 13_3$ の幾何学的形状の方が、最外層の空孔 13_4 の幾何学的形状よりも微細構造光ファイバ10の光伝送特性に影響を与えるからである。

【0038】

また、上記構成の微細構造光ファイバ10では、クラッド領域12が空孔 $13_1 \sim 13_4$ を有しているので、クラッド領域12の平均屈折率は、空孔 $13_1 \sim 13_4$ を有さない場合よりも小さくなっている。そのため、コア領域11とクラッド領域12との屈折率差は、クラッド領域12に空孔が形成されていない場合に比べて大きくなっている。

【0039】

次に、上記微細構造光ファイバ10を製造する方法について説明する。まず、微細構造光ファイバ10となるべき光ファイバ母材20を用意する。図2は、光ファイバ母材20を、その長手方向に直交する平面で切断した断面図である。光ファイバ母材20は、図2に示すように、コア領域11となるべき第1領域21、及び、クラッド領域12となるべき第2領域22を備えている。第1領域21と第2領域22とは同一の組成とする。また、第2領域22には空孔 13_1 、 13_2 、 13_3 、 13_4 となるべき貫通孔 23_1 、 23_2 、 23_3 、 23_4 が形成されている。貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ は、図2に示すように長手方向に直交する断面において第1領域21の周囲に六方格子状に、4層構造で配置されている。図2中の点線は、図1(a)の点線と同様に、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ が層構造となっていることを示すために描いたものである。

【0040】

この光ファイバ母材 20 は、まず、VAD 法、MCVD 法又は OVD 法などを用いて、第 1 領域 21 及び第 2 領域 22 を形成し、脱水焼結されて透明なガラス母材となり、次に第 2 領域 22 に貫通孔 23₁～23₄を形成することで作製される。貫通孔 23₁～23₄は例えば穿孔器具を用いて形成すれば良い。光ファイバ母材 20 の直径は特に限定されないが、例えば、約 40～70 [mm]である。この光ファイバ母材 20 を延伸機により延伸し、例えば、直径 25 [mm]にした後に線引工程へ移される。

【0041】

次に、上記光ファイバ母材 20 の貫通孔 23₁～23₄を加圧しながら光ファイバ 20 を線引きする。図 3 は、線引装置 30 の概略構成図である。なお、図 3 は、光ファイバ母材 20 が線引装置 30 で線引きされている過程を示している。

【0042】

光ファイバ母材 20 は、その一端部に中空円筒型のダミーパイプ 40 が接続されている。光ファイバ母材 20 は、一端部に接続されているダミーパイプ 40 をチャック 50 で把持して線引炉 60 に維持される。

【0043】

ダミーパイプ 40 の直径（外径）は光ファイバ母材 20 の直径とほぼ同一である。また、ダミーパイプ 40 の内径は、光ファイバ母材 20 における最外層を構成している貫通孔 23₄を取り囲む円の径とほぼ同じか少し大きくなっている。ダミーパイプ 40 の内部空間 41 は、光ファイバ母材 20 側と反対側の端部に取り付けられている加圧用継手 70 を介して、圧力調整手段 80 と繋がっている。圧力調整手段 80 は、ダミーパイプ 40 の内部空間 41 を通して光ファイバ母材 20 の貫通孔 23₁～23₄に圧力を加えて、貫通孔 23₁～23₄内を大気圧よりも高い状態にする。

【0044】

圧力調整手段 80 は、バッファタンク 81、差圧計 82、バキューム・ジェネレータ（Vacuum Generator：VG）83、マスフローコントローラ（Mass Flow Controller：MFC）84、85 及びコントローラ 86 を備えている。コントロー

ラ 86 は、MFC 84, 85 を制御する。

【0045】

バッファタンク 81 内には、窒素ガス及び酸素ガスの混合ガスが充填されている。バッファタンク 81 は、パイプ 87a により加圧用継手 70 に接続されている。そして、バッファタンク 81 内の混合ガスの圧力を調整することでダミーパイプ 40 の内部空間 41 を介して光ファイバ母材 20 の貫通孔 23₁～23₄に圧力が加えられるようになっている。

【0046】

バッファタンク 81 内の圧力は差圧計 82 で測定され、その測定値に基づいてバッファタンク 81 内の圧力が調整される。バッファタンク 81 の圧力の調整方法についてより詳細に説明する。

【0047】

差圧計 82 はコントローラ 86 と電氣的に接続されており、差圧計 82 の測定値はコントローラ 86 に入力される。コントローラ 86 は差圧計 82 の測定値に基づいて、MFC 84, 85 を制御して、バッファタンク 81 内の圧力を変える。

【0048】

MFC 84, 85 には夫々図中左側からパイプ 87b を通して窒素ガス及び酸素ガスの混合ガスが流入される。MFC 84 を通過した混合ガスはパイプ 87c を通って VG 83 に流入する。VG 83 はバッファタンク 81 とパイプ 87d で接続されている。また、MFC 85 を通過した混合ガスは、パイプ 87e を通ってバッファタンク 81 に流入する。この MFC 85 を通過した混合ガスによりバッファタンク 81 内の初期ガス圧を決定しておく。ここで、コントローラ 86 が MFC 85 の流量を一定に保ちつつ MFC 84 の流量を増やすと、VG 83 の図中右側のパイプ 87f への混合ガスの流量が増える。この場合、VG 83 とバッファタンク 81 とはパイプ 87d で接続されていることから、バッファタンク 81 内が減圧される。また、バッファタンク 81 内を加圧する場合には、MFC 85 からバッファタンク 81 への混合ガスの流量を増やす、または MFC 84 の流量を減らせばよい。以上述べたように、MFC 84, 85 の流量を変えることで

、バッファタンク 8 1 内の圧力を調整することができる。そして、バッファタンク 8 1 内の圧力を調整することで、光ファイバ母材 2 0 の貫通孔 2 3₁～2 3₄内に所望の圧力を加える。

【 0 0 4 9 】

上記のようにして貫通孔 2 3₁～2 3₄内に圧力の加えられた光ファイバ母材 2 0 において、ダミーパイプ 4 0 が取り付けられている端部側と反対側の端部は線引炉 6 0 のヒータ 6 1 により加熱されて線引きされる。

【 0 0 5 0 】

線引きされた光ファイバ母材 2 0 である微細構造光ファイバ 1 0 は、線引炉 6 0 の下流側（線引き方向側）で外径測定器 9 0 a により外径が測定される。なお、微細構造光ファイバ 1 0 の直径は、特に断らない限りは、約 1 2 5 [μ m] とする。次に樹脂コーティング部 1 0 0 により樹脂がコーティングされる。樹脂コーティング部 1 0 0 は、まず、プライマリコーティングダイスにより紫外線硬化樹脂を塗布し、この紫外線硬化樹脂を紫外光照射により硬化させる。続いて、セカンダリコーティングダイスにより紫外線硬化樹脂を塗布して、この紫外線硬化樹脂を紫外光照射により硬化させて、微細構造光ファイバ 1 0 を二重に被覆する。樹脂コーティング部 1 0 0 で被覆された微細構造光ファイバ 1 0 は、更に、外径測定器 9 0 b により、外径が測定される。続いて、キャプスタン 1 1 0、ローラ 1 2 0 a、ダンサローラ 1 2 0 b 及びローラ 1 2 0 c を順に経てボビン 1 3 0 に巻き取られる。

【 0 0 5 1 】

線引時の線引張力及び線速は、キャプスタン 1 1 0 の回転速度、ダンサローラ 1 2 1 の荷重、及び、線引炉 6 0 のヒータ 6 1 による加熱温度により決定する。

【 0 0 5 2 】

同じ径の微細構造光ファイバ 1 0 を得る場合、線速を変えずに線引張力を上げるには線引炉 6 0 のヒータ 6 1 による光ファイバ母材 2 0 の加熱温度を下げる。加熱温度が低い場合には、光ファイバ母材 2 0 の粘性が高いので、より大きな力で線引きする必要があるからである。逆に、線速を変えずに線引張力を下げるには、光ファイバ母材 2 0 の加熱温度を上げる。加熱温度が高い場合には、光ファ

イバ母材 20 の粘性が低下し、小さな力でも線引きすることができるからである。

【0053】

また、本実施形態では線速を 30～100 [m/min] としたが、400 [m/min] 程度までなら本実施形態における微細構造光ファイバ 10 を製造する方法の効果は全く変わらない。線引炉 60 の加熱温度を変えずに線速を上げると、線引張力はほぼ線速に比例して上昇する。従って、線引張力を一定に保った条件で線速を上げるには、線引炉 60 の加熱温度を上げる必要がある。この場合、ガラスの粘性が下がって貫通孔 23₁～23₄ は変形しやすくなるが、線速が上昇した分だけ高温に保たれる時間は短くなる。粘性が下がり変形しやすくなる効果と、高温に保持される時間が短くなり変形し難くなる効果が相殺するので、張力一定の条件では線速に依らず、貫通孔 23₁～23₄ の変形しやすさは一定となる。このような理由により線速 400 [m/min] 程度までなら、本実施形態における微細構造光ファイバ 10 を製造する方法の効果は全く変わらない。また、線速 400 [m/min] 以上の場合には、線速と線引張力との比例関係が多少崩れるため、高温保持時間と粘性の効果が完全には相殺しなくなるが、本実施形態における微細構造光ファイバ 10 を製造する方法は十分適用可能である。

【0054】

上記線引装置 30 において、圧力調整手段 80 で光ファイバ母材 20 の貫通孔 23₁～23₄ を加圧して貫通孔 23₁～23₄ 内を大気圧よりも高い状態に維持しつつ、0.78 [N] 以上、好ましくは 1.18 [N] 以上、更に好ましくは 1.47 [N] 以上の線引張力で光ファイバ母材 20 を線引きする。このように、より大きな線引張力で線引きする（即ち、より低温で線引きする）ことは、光ファイバ母材 20 の粘性が高い状態で線引きすることに相当するので、貫通孔 23₁～23₄ の変形を抑制することができる。なお、直径 125 [μ m] の微細構造光ファイバ 10 を製造する場合には、線引張力は 2.94 [N]（300 [gf]）以下が好適である。微細構造光ファイバ 10 が断線することを抑制することができるからである。

【0055】

また、上記の線引張力の条件の下で、圧力調整手段 80 により貫通孔 23₁～23₄を加圧する場合には、光ファイバ母材 20 の貫通孔 23₁～23₄に加える圧力を P [kPa]としたとき、空孔 13₁～13₄の所望の直径 d [μm]に応じて、圧力 P は以下のような条件を満たすことが好適である。

【0056】

d ≤ 2 の場合、

【数 27】

$$-d + 4.5 < P < -1.5d + 6.8 \quad \dots (27)$$

2 ≤ d ≤ 4 の場合、

【数 28】

$$-d + 4.5 < P < -d + 5.8 \quad \dots (28)$$

4 ≤ d ≤ 6 の場合、

【数 29】

$$-0.2d + 1.3 < P < -0.4d + 3.4 \quad \dots (29)$$

6 ≤ d の場合、

【数 30】

$$0.1 < P < 1.0 \quad \dots (30)$$

なお、微細構造光ファイバ 10 の直径が 100 [μm] 以下の場合、以下の条件であることが好ましい。

【0057】

d ≤ 2 の場合、

【数 31】

$$-d + 4.5 < P < -1.5d + 6.3 \quad \dots (31)$$

2 ≤ d ≤ 4 の場合、

【数 32】

$$-d + 4.5 < P < -d + 5.3 \quad \dots (32)$$

4 ≤ d ≤ 6 の場合、

【数 33】

$$-0.2d + 1.3 < P < -0.3d + 2.5 \quad \dots (33)$$

$6 \leq d$ の場合、

【数 3 4】

$$0.1 < P < 0.7 \cdots (34)$$

図 4 は、上記の圧力条件をグラフに示したものである。図中の実線 I 及び実線 I の間が直径 $125 [\mu m]$ の微細構造光ファイバ 10 を製造する場合に対する最適加圧範囲である。また、図中の実線 I 及び実線 III の間が直径 $100 [\mu m]$ 以下の微細構造光ファイバ 10 を製造する場合に対する最適加圧範囲である。

【0058】

ここで、上記圧力条件について説明する。光ファイバ母材 20 がヒータ 61 により加熱されはじめた領域（ヒートゾーンの上部）では光ファイバ母材 20 の粘性が小さいが、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ の直径が大きいので表面張力の影響が小さい。そのため、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ に圧力を加えると貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ は膨張する。そして、光ファイバ母材 20 が線引きされて貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ の直径が小さくなると、表面張力の影響が大きくなり、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ は収縮する。また、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ は線引きされて空孔 $13_1 \sim 13_4$ となるので、収縮する場合の表面張力の影響の大きさは空孔 $13_1 \sim 13_4$ の直径 d に依存する。そして、空孔 $13_1 \sim 13_4$ の直径 d に応じて貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ に加えるべき圧力 P を上述した条件を満たす圧力、即ち、図 4 に示す実線 I と実線 II との間（又は実線 I と実線 III との間）の圧力とすることにより貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ の膨張と収縮とのバランスを取ることができる。

【0059】

線引張力が高い条件では、光ファイバ母材 20 の温度が低く、ガラス粘性が高いため、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ が変形し難くなる。線引前半の貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ が大きい領域での孔の膨張と、線引後半の貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ が小さい領域での孔の収縮を相殺させて孔形状を維持するのであるが、ガラス粘性の影響は線引前半により大きく現われる。従って、線引張力が高い条件では、線引前半で貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ を必要量だけ膨張させるために、より大きな加圧が必要となる。このような理由により、線引張力が高い場合の最適圧力は高くなる。逆に、線引張力が低い場合には、孔形状を維持するための最適圧力は低くなる。

【0060】

そのため、圧力Pの範囲の上限値及び下限値は、夫々線引張力に依存している。図4の実線IIは、2.94[N]の線引張力で線引きする場合の圧力Pに相当する。実線Iは、0.78[N]の線引張力で線引きする場合の圧力Pに相当する。

【0061】

また、微細構造光ファイバ10の直径が小さくなれば、単位面積あたりの線引張力が大きくなる。そのため、微細構造光ファイバ10の断線を抑制する観点から、直径100[μm]の微細構造光ファイバ10を製造する場合には、線引張力を1.76[N]（180[gf]）以下とすることが好ましい。このように線引張力の最大値がより小さくなる（即ち、より高温で加熱する）ので、直径100[μm]の微細構造光ファイバ10を製造する場合、最適加圧範囲の上限値は、図4に示すように直径125[μm]の場合よりも小さくなっている。

【0062】

更に、線引張力が小さい場合には、線引き開始時の貫通孔23₁～23₄の直径が大きい領域での光ファイバ母材20の粘性が低いため、わずかな力で貫通孔23₁～23₄が変形しやすい。そのため、圧力Pを精度良く調整する必要がある。一方、線引張力が大きい場合には、光ファイバ母材20を加熱する温度がより低くなるので、光ファイバ母材20の粘性が高い。したがって、多少の圧力変化があっても貫通孔23₁～23₄が変形しにくい。そのため、圧力Pの許容範囲を広げることが可能である。

【0063】

図5～図8は、図4に示す実線I及び実線IIの間の加圧条件において、夫々0.59[N]（60[gf]）、1.08[N]（110[gf]）、1.32[N]（135[gf]）、1.47[N]（150[gf]）の線引張力で線引きして得られた微細構造光ファイバ10のファイバ軸に垂直な断面の電子顕微鏡写真を示す図である。

【0064】

図5を見れば分かるように、空孔が変形する条件では外側の空孔ほど潰れやすい傾向があり、また、図5～図8を比較すれば分かるように、線引張力が高くなるほど空孔の幾何学的形状は揃っている。これは以下の理由による。線引炉60

内部で光ファイバ母材 20 が加熱される際、熱は光ファイバ母材 20 の表面から内部に伝わる。このとき、最外層の貫通孔 23₄ が断熱層として作用するため、貫通孔 23₄ のすぐ外側のガラス温度は、内部の貫通孔 23₁ ~ 23₃ の周囲のガラス温度より僅かに高温となる。そのため粘性が低下し、貫通孔 23₄ の外側から変形しやすくなるのである。最外層の貫通孔 23₄ がある程度潰れて断熱層としての機能が失われると、外側から 2 層目の貫通孔 23₃ が断熱層として働くようになり、外側の貫通孔から順次潰れるのである。

【0065】

また、高張力の条件では、光ファイバ母材 20 の温度が低くガラス粘性が高いため、線引前半の貫通孔 23₁ ~ 23₄ の膨張量と、線引後半での貫通孔 23₁ ~ 23₄ の収縮量とがともに小さい。そのため、前述した最外層の貫通孔 23₄ と内部の貫通孔 23₁ ~ 23₃ の変形量の差が小さくなる。図 8 に示すように張力 1.47 [N] で線引すれば最外層を含めて全ての空孔が殆ど変形しない。線引張力を低くすると、線引前半の貫通孔 23₁ ~ 23₄ の膨張量と、線引後半での貫通孔 23₁ ~ 23₄ の収縮量とがともに大きくなるため、最外層の貫通孔 23₄ と内部の貫通孔 23₁ ~ 23₃ の変形量の差が大きくなる。そのため、図 6, 7 に示すように最外層の空孔が潰れて変形する。尚、線引張力 1.08 [N] の図 6 の方が、線引張力 1.32 [N] の図 7 より最外層の変形が僅かに大きいことが見て取れる。

更に線引張力を低くすると、最外層の貫通孔 23₄ が潰れて断熱層としての機能が失われるため、外側から 2 層目の貫通孔 23₃ にも変形が現われる。図 5 は線引張力 0.59 [N] で線引した場合であるが、外側から 2 層目の空孔も潰れ始めている。

【0066】

図 9 は、図 5 ~ 図 8 に示す微細構造光ファイバ 10 において空孔の最大孔径偏差 D と線引張力との関係を示すグラフである。縦軸は、最大孔径偏差 D [%] を示し、横軸は、線引張力を示している。図 9 には、最外層から 2 層目を構成している空孔夫々の最大孔径偏差 D のうち一番大きい値、及び、最外層を構成している空孔夫々の最大孔径偏差 D のうち一番大きい値をプロットしている。図 9 より、線引張力が 0.78 [N] 以上で、最外層から 2 層目の空孔の最大孔径偏差 D が 1

0 [%]以下となっていることがわかる。また、線引張力が1.18 [N]以上となると、最外層から2層目の空孔の最大孔径偏差Dは5 [%]以下となっている。微細構造光ファイバ10において、内層を構成している空孔の幾何学的形状が光伝送特性に影響し易い。したがって、内層の空孔の最大孔径偏差Dが小さい（即ち、変形が小さい）ほど光伝送特性が設計値により近くなる。そのため、線引張力は、0.78 [N]以上である必要があり、更に、1.18 [N]であることが好適である。更に、線引張力が1.47 [N]以上となると、最外層の空孔の最大孔径偏差Dも10 [%]以下となっている。したがって、線引張力が、1.47 [N]であることが更に好ましいことがわかる。

【0067】

図10は、最適加圧範囲と最大孔径偏差D [%]との関係を示すグラフである。縦軸は、貫通孔23₁～23₄に加えるべき圧力P [kPa]を示し、横軸は、製造すべき微細構造光ファイバ10の空孔13₁～13₄の直径d [μ m]を示している。図10から理解されるように、上述した圧力条件（即ち、実線Iと実線IIとの間）を満たしている圧力Pを加えられて線引きされた場合では、空孔13₃の最大孔径偏差Dが10 [%]以下となっていることがわかる。一方、上記最適加圧範囲外の圧力Pが加えられて製造された微細構造光ファイバ10の空孔13₃の最大孔径偏差Dは10 [%]を越えている。言い換えれば、空孔13₃の変形が大きくなっていることがわかる。以上より、上記最適加圧範囲の圧力Pを貫通孔23₁～23₄に加えて線引きすることにより、空孔13₃の変形を抑制することができることが理解できる。

【0068】

上記微細構造光ファイバ10を製造する方法が奏する作用・効果について説明する。

【0069】

従来、微細構造光ファイバを製造する場合、光ファイバ母材20を0.49～0.74 [N]で線引きするのに対して、本実施形態では、0.78 [N]以上、好ましくは、1.18 [N]以上の線引張力で線引きしている。言い換えれば、本実施形態では、光ファイバ母材20を加熱する温度をより低温にして高張力で線引き

している。そのため、光ファイバ母材 20 が線引きされる過程において、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ の変形を抑制することができる。その結果、図 6、図 7 及び図 8 に示すように微細構造光ファイバ 10 において、最外層以外の層を構成している空孔の変形が抑制される。したがって、光伝送特性をより設計値に近いものとすることができる。なお、図 8 に示すように、 1.47 [N] (150 [gf]) 以上の線引張力で線引きした場合には、最外層を構成している空孔の変形も抑制される。したがって、 1.47 [N] 以上の線引張力で線引きすることが、更に好適である。

【0070】

また、線引時には、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ 内に図 4 に示す実線 I と実線 II との間（又は、実線 I と実線 III との間）の圧力 P を加えている。これにより、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ の膨張と収縮とのバランスを取ることができるので、空孔 $13_1 \sim 13_4$ の変形が更に抑制されている。

【0071】

ところで、図 5 に示すような線引張力を下げた条件では、外側から 2 層目の空孔直径を保とうとして大きい圧力を加えると、内層の空孔が膨張し過ぎる。このような張力の低い条件では、圧力をどのように変えても内層の空孔を全て揃えることはできない。従って、線引張力を 0.78 [N] 以上にした状態で、所望の空孔直径 d に合わせた最適加圧条件を選ぶことが重要である。

【0072】

本実施形態では、微細構造光ファイバ 10 の空孔 $13_1 \sim 13_4$ の直径 d に応じて貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ に加える圧力 P を最適化している。これにより、層構造の貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ においても、貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ の膨張と収縮とのバランスが取れているので、図 6 及び図 7 に示すように外側から 2 層目の空孔における最大孔径偏差 D を小さくできると共に、図 8 に示すように、最外層を構成している空孔の変形も少なくすることができている。

【0073】

なお、図 1 に示す d/Λ が 0.5 以上である空孔の分布を有する微細構造光ファイバ 10 を製造する場合、即ち、隣り合う空孔間が狭い微細構造光ファイバ 1

0を製造する場合には、線引前半で貫通孔 $23_1 \sim 23_4$ が膨張したときに、隣り合う貫通孔同士が互いに押し合って空孔が変形しやすくなる。上記製造方法のように、線引張力を 0.78 [N] 以上に保ちつつ圧力 P を最適化することで、 d/Λ が 0.5 以上の貫通孔が変形しやすい構造の場合でも空孔 $13_1 \sim 13_4$ の変形が抑制された微細構造光ファイバ10を製造することができる。本実施形態における微細構造光ファイバ10の製造方法では、 d/Λ が更に大きな構造であっても、線引張力の大きな条件（図4の実線IIや実線IIIに近い条件）で製造することで良好な微細構造光ファイバ10を得ることが可能である。

【0074】

以上、本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されないことは言うまでもない。例えば、上記実施形態では、ファイバ軸に直交する断面において空孔 $13_1 \sim 13_4$ を六方格子状であって、4層構造に配置しているが、特にこのような配置関係に限定する必要はない。例えば、空孔は、3層以上の層構造をしていればよい。また、ファイバ軸に直交する断面での空孔 $13_1 \sim 13_4$ の配置は、微細構造光ファイバで実現すべき特性、例えば絶対値の大きな波長分散や、空孔を有さない光ファイバよりも大きい又は小さい実効コア断面積を実現するために必要な配置とすれば良い。

【0075】

また、コア領域11に屈折率を上昇させる添加材（例えば、Ge）を添加しても良く、屈折率を下げる添加材を添加しても良い。更に、添加材を添加しなくても良い。また、コア領域11は中空でもかまわない。

【0076】

更に、上記実施形態では、製造すべき微細構造光ファイバ10の直径を 125 [\mu m] としているが、特に 125 [\mu m] に限定する必要はない。更にまた、光ファイバ母材20の直径を 25 [mm] としているが、必ずしも 25 [mm] にする必要はない。例えば、 36 [mm] あるいは 70 [mm] などとしても良い。但し、光ファイバ母材の直径が大きい場合、直径が 25 [mm] である場合に比べて、 36 [mm] あるいは 70 [mm] などから 25 [mm] になるまでにも貫通孔が表面張力により潰れる効果の影響を受ける。これを相殺するように加圧条件を適性化するのであるが、前述

のように貫通孔の変形量が大きいと隣り合う貫通孔同士が押し合い、変形の原因となる。そのため、貫通孔の変形量がより小さくなる高張力で線引することが好ましい。逆に、母材直径を 15 [mm] と小さくした場合、表面張力により貫通孔が潰れる効果は小さくなるので製造は易しくなる。

【0077】

更にまた、上記実施形態において、式 (25) 及び式 (26) において、 d_A を、空孔 13₁~13₄ 夫々の最大孔径 d_{MAX} 及び最小孔径 d_{MIN} をそれらの空孔 13₁~13₄ において平均した値とした場合に、空孔 13₁~13₄ 夫々の第 1 偏差 D_1 及び第 2 偏差 D_2 が 10 [%] 以下としても良い。この場合には、更に光伝送特性を設計値に近いものとする事ができる。

【0078】

【発明の効果】

本発明によれば、光ファイバはファイバ軸方向に延びる空孔を有し、その光伝送特性を設計値により近いものとする事ができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る微細構造光ファイバの一実施形態において、ファイバ軸に垂直な面で微細構造光ファイバを切断した場合の断面図である。

【図 2】

図 1 の微細構造光ファイバとなるべき光ファイバ母材を長手方向に垂直な面で切断した場合の断面図である。

【図 3】

光ファイバ母材を線引きするための線引装置の構成を示す模式図である。

【図 4】

光ファイバ母材の貫通孔への最適加圧範囲を示すグラフである。

【図 5】

0.59 [N] の線引張力で光ファイバ母材を線引きした場合の微細構造光ファイバの電子顕微鏡写真を示す図である。

【図 6】

1. 08 [N]の線引張力で光ファイバ母材を線引きした場合の微細構造光ファイバの電子顕微鏡写真を示す図である。

【図 7】

1. 32 [N]の線引張力で光ファイバ母材を線引きした場合の微細構造光ファイバの電子顕微鏡写真を示す図である。

【図 8】

1. 47 [N]の線引張力で光ファイバ母材を線引きした場合の微細構造光ファイバの電子顕微鏡写真を示す図である。

【図 9】

線引張力と最大孔径偏差との関係を示す図である。

【図 10】

最適加圧範囲と最大孔径偏差との関係を示す図である。

【符号の説明】

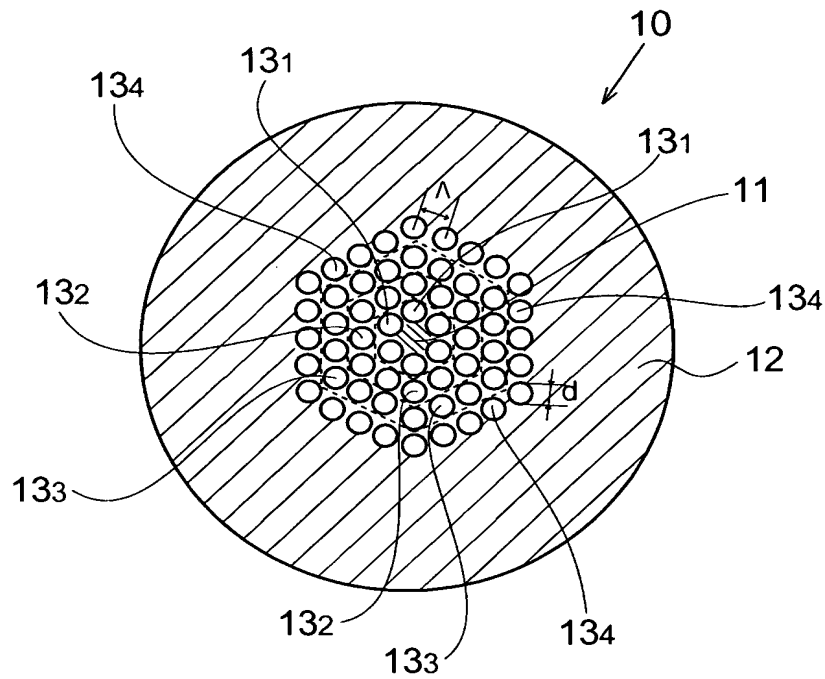
10…微細構造光ファイバ、11…コア領域、12…クラッド領域、13₁～13₄…空孔、20…光ファイバ母材、21…第1領域、22…第2領域、23₁～23₄…貫通孔、30…線引装置、40…ダミーパイプ、41…内部空間、50…チャック、60…線引炉、61…ヒータ、80…圧力調整手段、81…バッファタンク、82…差圧計、83…バキューム・ジェネレータ (VG)、84、85…マスフローコントローラ (MFC)、86…コントローラ、90a、90b…外径測定器、100…樹脂コーティング部、110…キャプスタン、120a…ローラ、120b…ダンサローラ、120c…ローラ、130…ポビン

【書類名】

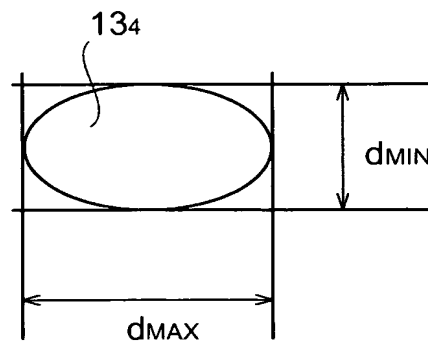
図面

【図 1】

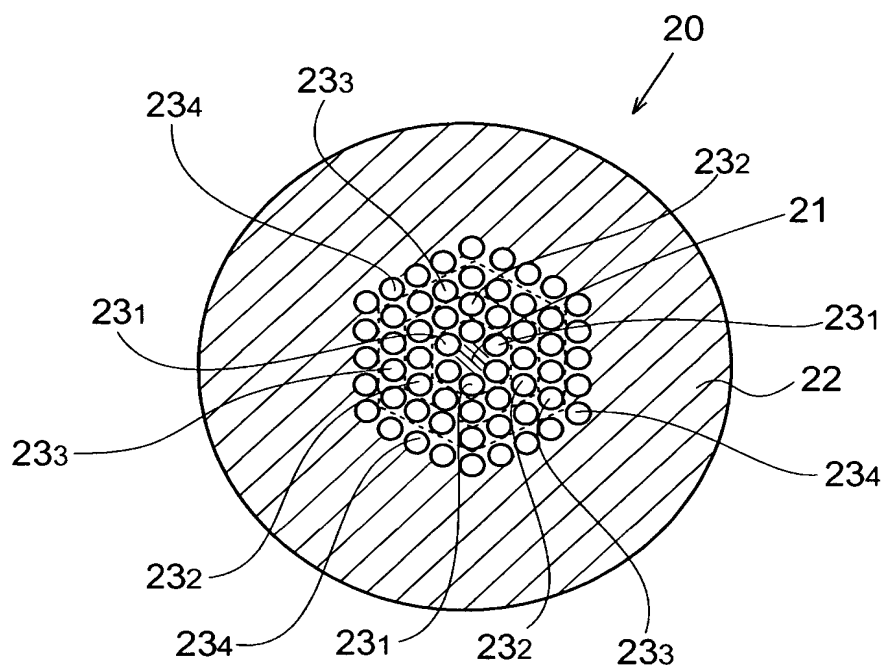
(a)



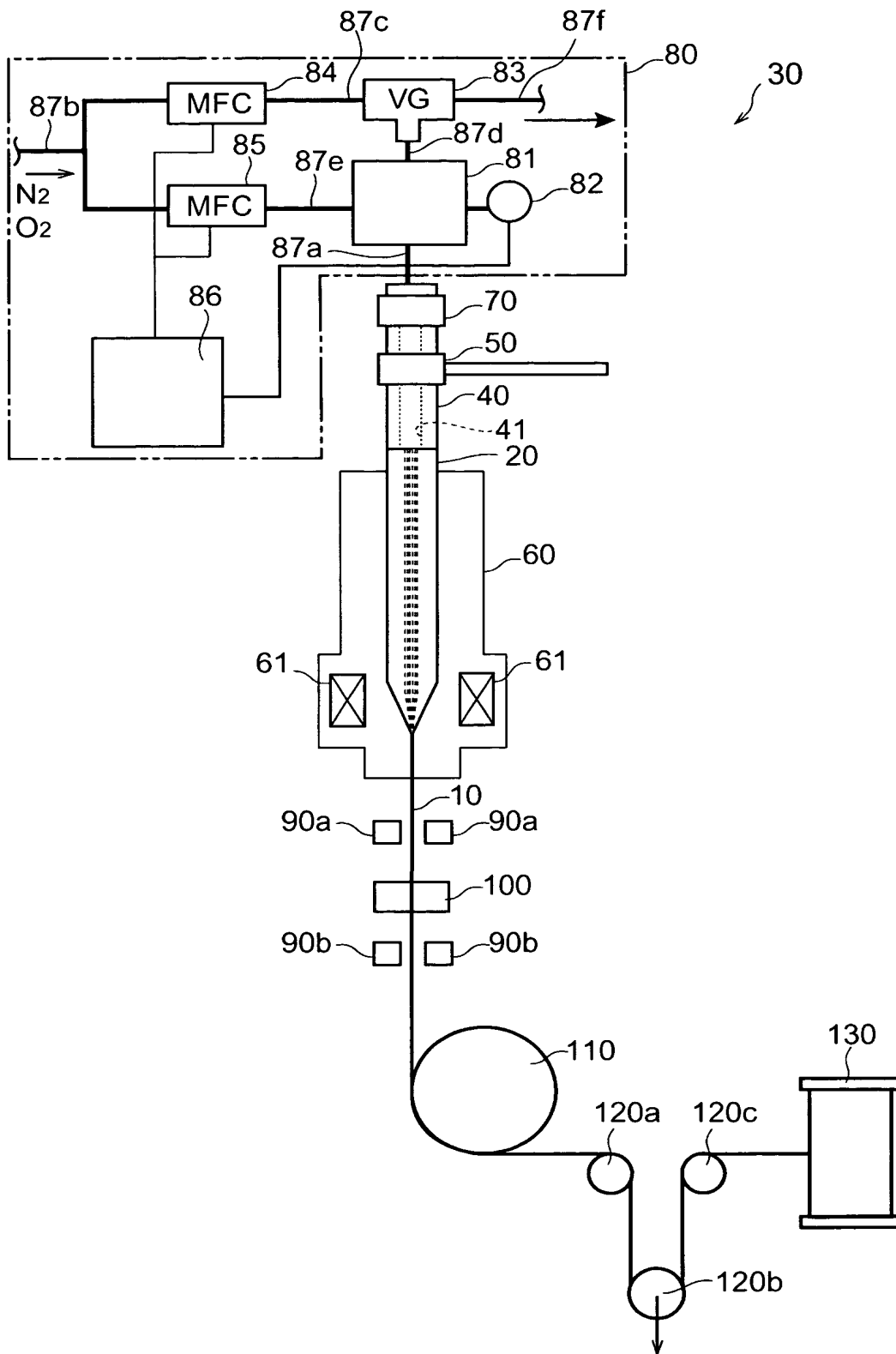
(b)



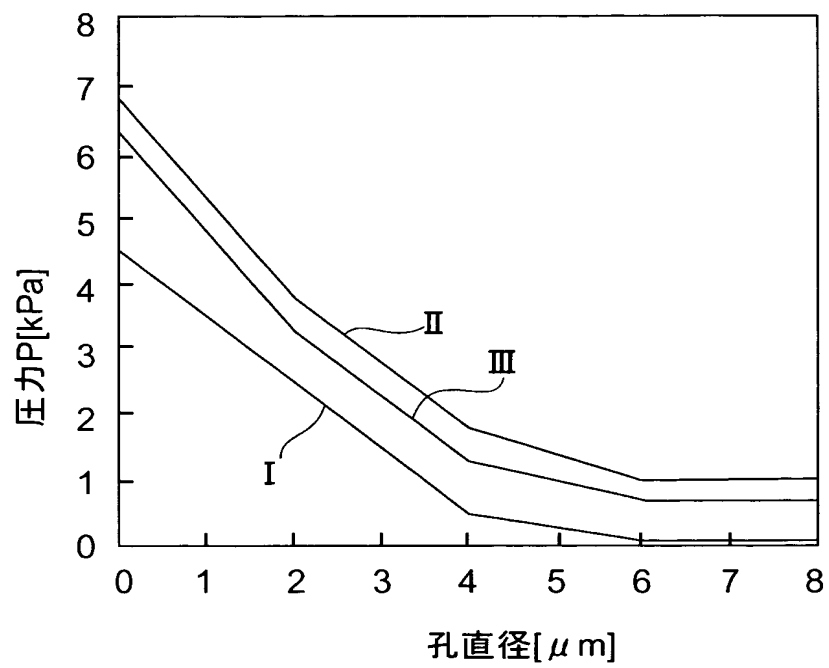
【図 2】



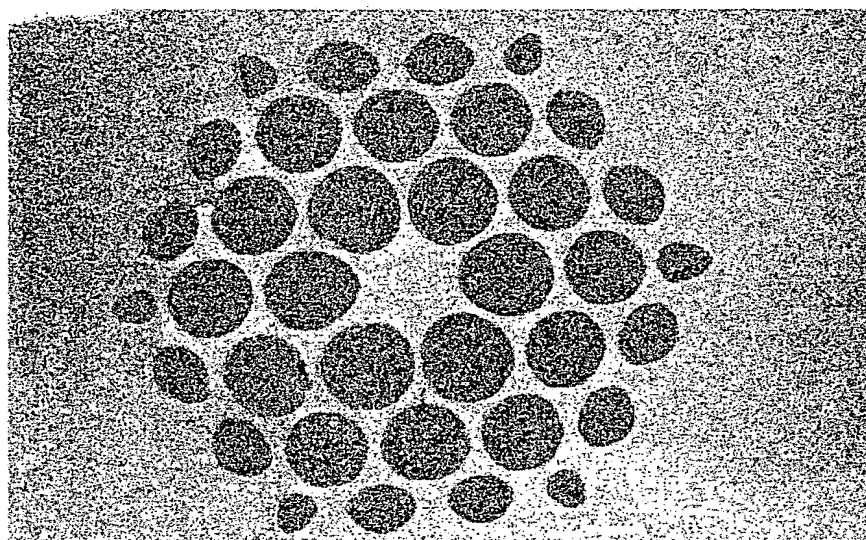
【図 3】



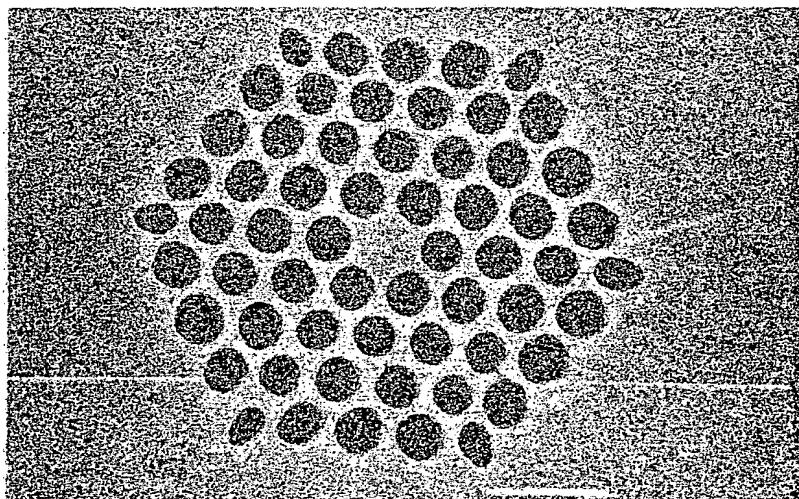
【図 4】



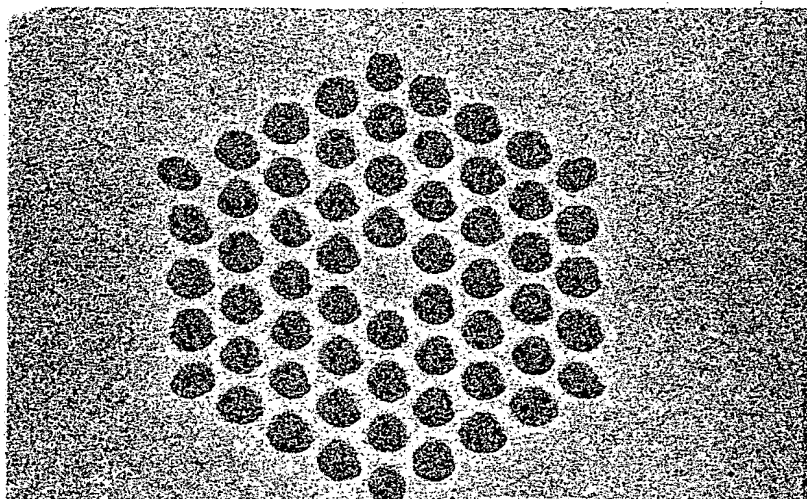
【図 5】



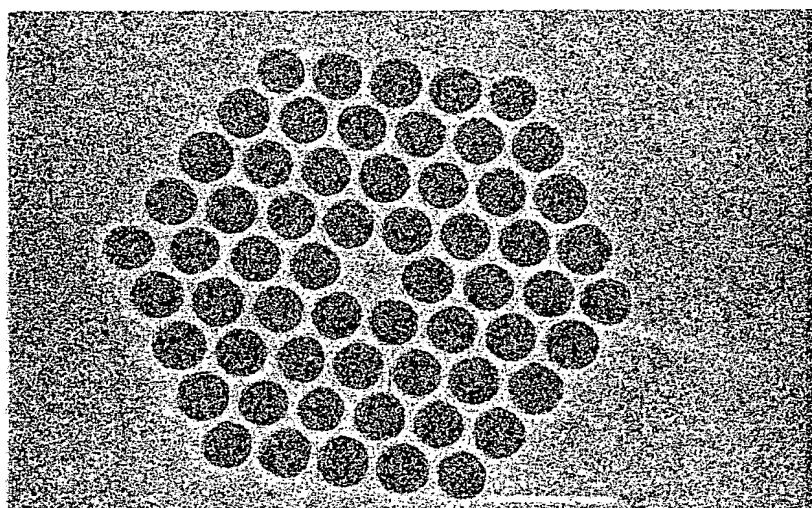
【図 6】



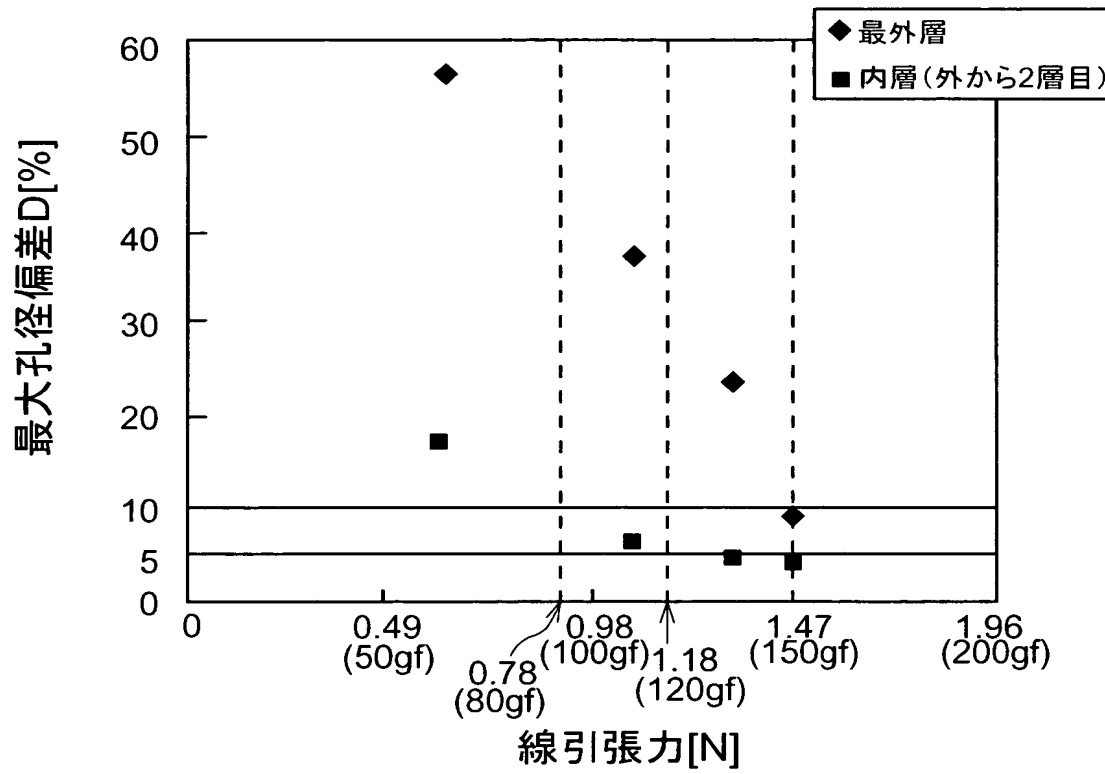
【図 7】



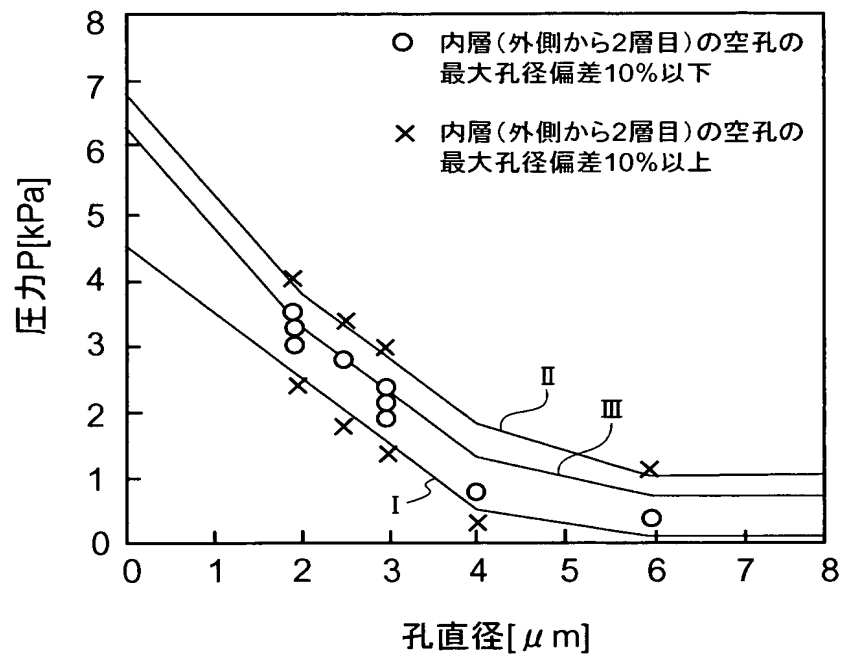
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ファイバ軸方向に延びる空孔を有し設計値により近い光伝送特性を得ることができる光ファイバ及び光ファイバを製造する方法を提供すること。

【解決手段】 本発明に係る光ファイバの製造方法は、ファイバ軸方向に延びる空孔 1 3₁～1 3₄を有する光ファイバ 1 0 を製造する方法であって、空孔となるべき孔 2 3₁～2 3₄を有する光ファイバ母材 2 0 を用意する工程と、光ファイバ母材の孔内を加圧しながら、0. 7 8 [N]以上の線引張力で光ファイバ母材を線引きする工程とを備えることを特徴とする。これにより、空孔 1 3₁～1 3₄の変形を抑制することができるので、設計値により近い光伝送特性を得ることが可能である。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 3 - 1 0 2 0 1 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.